

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :

G01B 7/00

A2

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/02006

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum:

13. Januar 2000 (13.01.00)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/DE99/02017

(22) Internationales Anmeldedatum:

1. Juli 1999 (01.07.99)

(30) Prioritätsdaten:

198 30 344.0

7. Juli 1998 (07.07.98)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS  
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,  
D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VAN DEN BERG, Hugo  
[NL/DE]; Dr.-Dassler-Strasse 4, D-91074 Herzogenau-  
rach (DE). MATTHEIS, Roland [DE/DE]; Talstrasse 36,  
D-07743 Jena (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter:

SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT,  
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU,  
MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

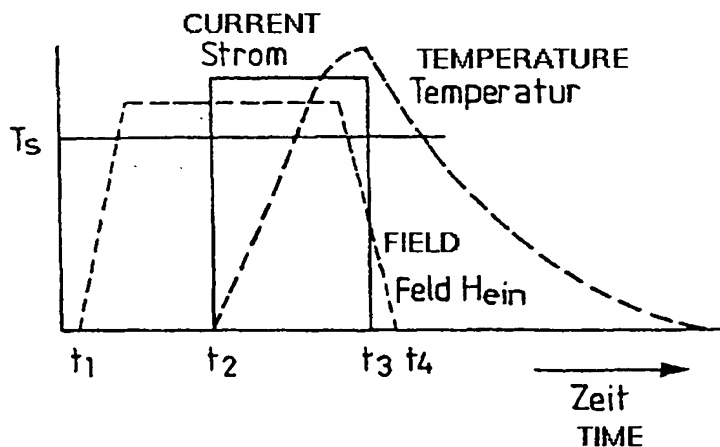
Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE MAGNETIZATION OF THE BIAS LAYER OF A MAGNETORESISTIVE SENSOR  
ELEMENT, SENSOR ELEMENT OR SENSOR ELEMENT SYSTEM PROCESSED ACCORDING TO SAID METHOD  
AND SENSOR ELEMENT AND SENSOR SUBSTRATE SUITABLE FOR THE IMPLEMENTATION OF SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM EINSTELLEN DER MAGNETISIERUNG DER BIASSCHICHT EINES MAG-  
NETO-RESISTIVEN SENSORELEMENTS, DEMGEMÄSS BEARBEITETES SENSORELEMENT ODER  
SENSORELEMENTSYSTEM SOWIE ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS GEEIGNETES  
SENSORELEMENT UND SENSORSUBSTRAT

(57) Abstract

The invention relates to a method for regu-  
lating the magnetization of at least one bias layer  
of a magnetoresistive sensor element, whereby the  
bias layer is part of an AAF (artificial antiferro-  
magnetic) system consisting of at least one bias  
layer, at least one flux conducting layer and at  
least one connecting layer that is arranged be-  
tween said layers and connects them antiferromag-  
netically. The inventive method comprises the  
following steps: a) the sensor element is heated to  
above a predetermined temperature ( $T_s$ ) or cooled to  
below a predetermined temperature ( $T_s$ ), b) a  
magnetic regulating field ( $H_{\text{ein}}$ ) is applied during  
and/or after heating or cooling, c) the regulating  
field ( $H_{\text{ein}}$ ) is no longer applied after a prede-  
termined time period, and d) the temperature is  
brought back to the initial temperature.



(57) Zusammenfassung

Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung mindestens einer Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, umfassend folgende Schritte: a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements über oder unter eine vorbestimmte Temperatur ( $T_s$ ), b) Anlegen eines magnetischen Einstellfelds ( $H_{\text{ein}}$ ) während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen, c) Abschalten des Einstellfelds ( $H_{\text{ein}}$ ) nach einer vorbestimmten Zeit, d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.

BEST AVAILABLE COPY

# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

## Beschreibung

Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung der Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, demgemäß bearbeitetes Sensorelement oder Sensorelementensystem sowie zur Durchführung des Verfahrens geeignetes Sensorelement und Sensor-substrat

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung der Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferro magnetic-system) ist bestehend aus mindestens der Biasschicht, einer Flußführungsschicht und einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht.

Solche Sensorelemente kommen beispielsweise bei magneto-resistiven Winkeldetektoren zum Einsatz. Grundlage dieser Sensoren sind die beiden einander entgegengesetzten Magnetisierungen der Bias- und der Flußführungsschicht mit einer starken antiferromagnetischen Kopplung. Diese beiden Schichten verhalten sich als eine steife Einheit, die sich von äußeren Feldern kaum beeinflussen läßt. Die magnetische Meßschicht dagegen ist weichmagnetisch und deren Magnetisierung richtet sich parallel zum äußeren Feld aus. Über das äußere Magnetfeld wird der Winkel zwischen den Magnetisierungen in der Bias- und Meßschichtmagnetisierung und damit der Widerstand des Sensorelements festgelegt. Um den Einfluß der Temperatur auf solche Sensorsysteme, von denen für einen 180°-Winkeldetektor vier Sensorelemente und für einen 360°-Winkeldetektor acht Sensorelemente benötigt werden, möglichst kompensieren zu können, werden diese nach Art einer Wheatstone'sche Brücke verschaltet. Zur weitergehenden Kompensation von Temperatureinflüssen ist es bevorzugt, die Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat anzuordnen und in ihrem

Schichtaufbau und der Schichtstruktur identisch auszugestalten. Erforderlich ist in jedem Fall, daß die Magnetisierung der Biasschichten von zwei Elementen innerhalb des vier Sensorelemente umfassenden Sensorsystems entgegengesetzt zu den  
5 anderen beiden Elementen ist. Eine Halbbrücke erfordert nur zwei Elemente mit entgegengesetzten Biasmagnetisierungen. Dies gilt unabhängig davon, ob das Sensorsystem auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet ist oder ob es mittels einzelner separater Sensorelemente gebildet ist. Zu diesem Zweck  
10 ist es bekannt, an den einzelnen Sensorelementen mittels stromdurchflossener Leiter das jeweils entsprechend gerichtete Magnetfeld anzulegen. Dies bedarf insbesondere bei auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Sensorelementen, die entsprechend miteinander verschaltet und angeordnet sind, einer aufwendigen Leiterführung. Im übrigen sind die jeweiligen  
15 Einstellfelder für die Gesamtheit der Sensorelemente nicht uniform.

Der Erfindung liegt damit das Problem zugrunde, ein hierzu  
20 alternatives Einstellverfahren anzugeben, das eine einfache Einstellung der Biasmagnetisierung eines einzelnen Sensorelements oder von Sensorelementen eines Sensorsystems ermöglicht.

25 Zur Lösung dieses Problems ist ein Verfahren der eingangs genannten Art durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements auf eine vorbestimmte Temperatur,  
30
- b) Anlegen des magnetischen Einstellfelds während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen,
- c) Abschalten des Einstellfelds nach einer vorbestimmten  
35 Zeit,

d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt also die Einstellung  
5 bei vorbestimmter erhöhter oder erniedrigter Temperatur.

Grundlage hierfür ist, daß die Biasschicht und die Flußfüh-  
rungsschicht bzw. deren Magnetisierung ein unterschiedliches  
Temperaturverhalten bedingt durch eine zwischen den Schichten  
gegebene Asymmetrie aufweisen. Wird nun das Sensorelement auf  
10 die vorbestimmte Temperatur gebracht, so ändert sich die Sät-  
tigungsmagnetisierung, die Koerzitivität oder die Anisotropie  
der einen Schicht stärker als der anderen. Dies führt dazu,  
daß nach Abschalten des Einstellfeldes infolge der nach wie  
vor gegebenen Temperaturerhöhung die Magnetisierung der  
15 Schicht, bei der sich z.B. die Sättigungsmagnetisierung in-  
folge der Temperaturveränderung deutlich geändert hat, in die  
entgegengesetzte Richtung ausrichtet, wie nachfolgend noch  
näher beschrieben wird. Es ist also möglich, durch entspre-  
chende Temperaturführung die Einstellung zu erreichen.

20 Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigen sich  
insbesondere dann, wenn mindestens zwei Sensorelemente, die  
gleichzeitig eingestellt werden sollen, vorhanden sind, wobei  
die Magnetisierung der Biasschicht der beiden Sensorelemente  
25 oder bei mehr als zwei Sensorelementen die Magnetisierung ei-  
nes Teils der Sensorelemente zu der der anderen entgegenge-  
setzt gerichtet sein soll. In diesem Fall kann erfindungsge-  
mäß vorgesehen sein, daß lediglich ein Sensorelement oder der  
entsprechende Teil der Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt  
30 wird. Wie beschrieben ändert sich beispielsweise die Sätti-  
gungsmagnetisierung bzw. das Verhältnis der Sättigungsmagne-  
tisierungen der einzelnen Schichten nur bei den erwärmten  
Sensorelementen. Wird das Einstellfeld angelegt, so kehrt  
sich nur bei den temperaturbeeinflussten Sensorelementen die  
35 Magnetisierung entsprechend um, bei den Sensorelementen, die

nicht temperaturbeeinflusst sind und bei denen die Sättigungsmagnetisierung unverändert ist, kehrt sich die Biasmagnetisierung nicht um. Es ist also vorteilhaft möglich, mit einem einzigen uniformen Einstellfeld zur Einstellung aller Sensorelemente zu arbeiten. Die Sensorelemente können, wenn die mehreren Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat in Form von Sensorbrücken zur Bildung von Winkelsensoren, insbesondere von 360°-Winkelsensoren angeordnet sind, erfindungsgemäß lokal erwärmt oder abgekühlt werden.

Wenngleich es möglich ist, die nicht temperaturbehandelten Sensorelemente auf Raumtemperatur zu halten, können erfindungsgemäß gleichermaßen vor der Erwärmung oder Abkühlung des oder der Sensorelemente alle Sensorelemente abgekühlt oder erwärmt werden und die dabei erreichte Temperatur für die anschließend nicht erwärmten oder abgekühlten Sensorelemente beibehalten werden. Die Wahl der Temperatur und Temperaturführung ist letztlich abhängig von der Art der verwendeten Sensorelemente bzw. der jeweiligen Schichten.

Die Erwärmung erfolgt vorteilhafterweise mittels pulsartig über das oder die Sensorelemente geführter Ströme, wodurch sich mit besonderem Vorteil im Fall von auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Sensorelementen eine lokale Erwärmung erzielen läßt, worauf nachfolgend noch eingegangen wird. Der Abschaltzeitpunkt für das Einstellfeld sollte früher liegen als der Zeitpunkt, an dem die Temperatur bei Rückkehr zur Arbeitstemperatur einen kritischen Wert durchläuft, bei dem die infolge der Temperaturerhöhung erhaltene Asymmetrie gerade noch gegeben ist.

Wie beschrieben beruht die Umkehrung der Magnetisierung gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren darauf, daß bei der gewählten Einstell-Temperatur die Schichten der behandelten Sensorelemente ein unterschiedliches Temperaturverhalten zeigen.

Zweckmäßigerweise sollte die Temperatur, auf welche die Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt werden, außerhalb und höher oder niedriger liegen als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind, um bei Betrieb der Sensorelemente keine Umkehr des vorher erreichten Effektes zu erhalten.

Für den Fall, daß vorher die Sensorelemente abgekühlt werden, kann die anschließende Erwärmungstemperatur des oder derjenigen Sensorelemente innerhalb des Temperaturbereichs oder außerhalb und höher liegen als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind.

Neben dem erfindungsgemäßen Verfahren betrifft die Erfindung ferner ein Sensorelement oder ein Sensorelementensystem umfassend mehrere Sensorelemente, wobei die Biasschicht des oder der Sensorelemente gemäß dem vorbeschriebenen Verfahren eingestellt ist. Bei einem demgemäß ausgebildeten Sensorelementensystem mit zwei, drei oder vier Sensorelementen oder einem Vielfachen davon können die vier oder jeweils zwei, drei oder vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

Neben den mit dem erfindungsgemäß eingestellten Verfahren hergestellten Sensorelementen bzw. Sensorelementensystemen betrifft die Erfindung desweiteren ein Sensorelement selbst mit mindestens einer Biasschicht, die Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, wobei die Magnetisierung der Biasschicht mittels des vorbeschriebenen Verfahrens in entgegengesetzter Richtung zur Magnetisierung der Flußführungsschicht einstellbar ist. Dieses Sensorelement zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, daß das Temperaturverhalten der Magnetisierung der Bias-

schicht und der mindestens eine Flußführungsschicht in einem homogenen magnetischen Einstellfeld bedingt durch eine zwischen den Schichten gegebene Asymmetrie unterschiedlich ist. Wie beschrieben läßt sich die Magnetisierung (Koerzitivität, Anisotropie) infolge des asymmetriebedingten unterschiedlichen Temperaturverhaltens der relevanten Schichten entsprechend einstellen. Diese Asymmetrie kann gemäß einer ersten Erfindungsalternative beispielsweise durch unterschiedlich große magnetische Momente der Biasschicht und der Flußführungsschicht bei der Einstelltemperatur erzeugt sein. Infolge der Temperaturbeeinflussung ändert sich das Verhältnis der magnetischen Momente der beiden Schichten, das heißt, bei beispielsweise Raumtemperatur ist das magnetische Moment der Biasschicht größer als das der Flußführungsschicht, während bei der Einstelltemperatur das magnetische Moment der Biaschicht kleiner als das der Flußführungsschicht ist. Zusätzlich ist auch die jeweilige Curietemperatur der Schichten unterschiedlich. Infolge der Schichtkopplung wird in diesem Fall die unterschiedliche Ausrichtung ermöglicht.

Eine andere Alternative zur Erzeugung der Asymmetrie kann erfindungsgemäß in unterschiedlichen Dicken der Bias- und der Flußführungsschicht liegen. Schließlich kann erfindungsgemäß die Biasschicht und die Flußführungsschicht zur Erzeugung der Asymmetrie auch unterschiedliche Anisotropien besitzen, wobei in diesem Fall der unterschiedliche Anisotropiebeitrag bei der erhöhten Einstelltemperatur ursächlich ist. Schließlich kann erfindungsgemäß auch die Koerzitivität, also die magnetische Reibung innerhalb der Schichten unterschiedlich sein. Eine weitere erfindungsgemäße Ausgestaltung kann vorsehen, daß die Asymmetrie mittels einer an die Biasschicht oder die Flußführungsschicht gekoppelten weiteren ferri-, ferro-, oder antiferromagnetischen Schicht erzeugt ist. In diesem Fall können die Bias- und die Flußführungsschicht gleich sein, da infolge der Kopplung der jeweiligen Schicht mit der Bilanz-



schicht der jeweilige Asymmetriebeitrag beispielsweise in Form der magnetischen Momente der Bilanzschicht, oder einer etwaigen Anisotropie oder unterschiedlichen Koerzitivität derselben zur jeweils angekoppelten Schicht „addiert“ wird.

5 Selbstverständlich können auch in diesem Fall die Bias- und Flußführungsschicht unterschiedlich sein.

Erfindungsgemäß kann die Phasenübergangstemperatur der weiteren Schicht niedriger als die Curie-Temperatur der Bias-  
10 schicht und der Flußführungsschicht sein, wobei die Bias- und die Flußführungsschicht aus dem gleichen Material bestehen können. Infolge der niedrigeren Curie-Temperatur fehlt der jeweils an die weitere Schicht gekoppelten Schicht bei einer gegebenen Einstelltemperatur oberhalb der Curie-Temperatur  
15 der weiteren Schicht der Schichtbeitrag, so daß sich oberhalb dieser Temperatur die Asymmetrie einstellt.

Erfindungsgemäß können zwei weitere Schichten vorgesehen sein, die an die beiden im AAF-System außenliegenden Flußfüh-  
20 rungsschichten gekoppelt sind, es sind hier also zwei Flußführungsschichten vorhanden. Eine weitere Ausgestaltung kann derart sein, daß das AAF-System zwei die weitere Schicht zwischen sich aufnehmende Biasschichten aufweist.

25 Das erfindungsgemäße Sensorelement ist nicht auf eine Strukturierung mit lediglich einem AAF-System beschränkt. Vielmehr können erfindungsgemäß zwei AAF-Systeme vorgesehen sein, die eine entkoppelte Meßschicht zwischen sich aufnehmen. In diesem Fall sind zwei weitere Schichten vorgesehen, die an die  
30 außenliegenden Flußführungsschichten der beiden AAF-Systeme gekoppelt sind. Die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung und/oder der Anisotropie und/oder der Hysteresis kann derart stark sein, daß sich mit einem festen Einstellfeld mindestens zwei unterschiedliche Biasmagnetisierungen einstellen lassen,  
35 die parallel zum Einstellfeld liegen können, aber auch unter

einem Winkel dazu, nämlich dann, wenn nach Abschalten des Einstellfeldes die Magnetisierung um einen gewissen Winkelbereich zurückdreht.

- 5 Schließlich betrifft die Erfindung ein Sensorsubstrat mit mehreren Sensorelementen. Erfindungsgemäß sind die Sensorelemente wie vorbeschrieben ausgebildet, ferner sind Mittel zum lokalen Erwärmen eines oder mehrerer Sensorelemente vorgesehen. Die Mittel können erfindungsgemäß derart sein, daß eine
- 10 Erwärmung mittels eines über das oder die Sensorelemente fließenden Stroms ermöglicht ist. Sind jeweils vier Sensorelemente zur Bildung einer Sensorbrücke miteinander verschaltet, können die Mittel zum Erwärmen derart ausgebildet und angeordnet sein, daß jeweils zwei Sensorelemente erwärmbar
- 15 sind. Sind auf dem Sensorsubstrat mehrere Sensorbrücken angeordnet, können die Mittel erfindungsgemäß derart ausgebildet sein, daß sie beim Trennen der Sensorbrücken voneinander unterbrochen werden. Dabei sollten zweckmäßigerweise die Sensorelemente und/oder die Mittel so angeordnet sein, daß der Erwärmungsstrom über mehrere, aber nicht alle, Sensorelemente, gegebenenfalls Sensorbrücken geführt wird. Eine zweckmäßige konkrete Ausgestaltung der Mittel sieht vor, daß diese als
- 20 jeweils zwei Sensorelemente einer Sensorbrücke kurzschließende Kurzschlußleiter ausgebildet sind, wobei der Erwärmungsstrom über die beiden nicht kurzgeschlossenen zu erwärmenden Sensorelemente führbar ist.
- 25

Alternativ hierzu kann vorgesehen sein, daß die Mittel als die zu erwärmenden Sensorelemente verbindende Leiter ausgebildet sind, wobei die nicht zu erwärmenden Sensorelemente im

30 wesentlichen auf dem gleichen Potential wie die zu erwärmenden Sensorelemente liegen. Um in diesem Fall weitgehend zu vermeiden, daß infolge einer möglicherweise gegebenen nicht-uniformen Ausbildung der Sensorelemente einer Sensorbrücke

35 ein zu einer Erwärmung der eigentlich nicht zu erwärmenden

Sensorelemente führender Heizstrom über diese fließt, kann erfindungsgemäß wenigstens eine Spannungsausgleichsleitung zwischen zwei der Erwärmung zweier Sensorelemente einer Sensorbrücke dienenden Leitern vorgesehen sein. Die mittels der  
5 Leiter verbundenen Sensorelemente sollten zweckmäßigerweise längs einer oder mehrerer im wesentlichen gerader Linien angeordnet sein. Eine zweckmäßige Erfindungsalternative sieht demgegenüber vor, daß die Sensorelemente einer Sensorbrücke mäanderförmig ausgebildet sind, wobei jeweils zwei Sensorele-  
10 mente ineinander eingreifend angeordnet sind. Dies führt zu einem besseren Temperaturverhalten und einem mechanischen Spannungsausgleich der Elemente der jeweiligen Brückenhälften, was eine geringere Brücken-Offset-Spannung zur Folge hat. Besitzt das Sensorsubstrat vier Sensorelemente oder ein  
15 Vielfaches davon, sind also entsprechende Sensorbrücken vorhanden, können die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung er-  
20 geben sich aus den im folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipskizze einer vier Sensorelemente auf-  
weisenden Sensorbrücke, von denen zwei erwärmbar  
25 und zwei kurzgeschlossen sind,

Fig. 2 eine Prinzipskizze der Anordnung mehrerer Sensor-  
brücken auf einem gemeinsamen Substrat,

30 Fig. 3 eine Sensorbrücke aus Fig. 2 nach Trennung des Substrats,

Fig. 4 eine Sensorbrücke einer zweiten Ausführungsform,  
wobei auch hier zwei Sensorelemente selektiv er-  
35 wärmbar sind,

- Fig. 5      mehrere Sensorbrücken gemäß Fig. 4 auf einem gemeinsamen Substrat,
- 5   Fig. 6      eine dritte Ausführungsform einer Sensorbrücke,
- Fig. 7      ein Diagramm zur Darstellung der Strom-, Temperatur- und Einstellfeldführung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,
- 10
- Fig. 8      eine Prinzipskizze zur Darstellung eines Sensorelements einer ersten Ausführungsform,
- Fig. 9      ein Diagramm zur Darstellung der Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung der unterschiedlichen Schichten des AAF-Systems,
- 15
- Fig. 10      ein Sensorelement einer zweiten Ausführungsform,
- 20   Fig. 11      die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des Sensorelements aus Fig. 10,
- Fig. 12      eine dritte Ausführungsform eines Sensorelements,
- 25   Fig. 13      eine vierte Ausführungsform eines Sensorelements,
- Fig. 14      die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des Sensorelements aus Fig. 13,
- 30   Fig. 15      eine fünfte Ausführungsform eines Sensorelements,
- Fig. 16      eine sechste Ausführungsform eines Sensorelements,
- Fig. 17      die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des Sensorelements aus Fig. 16,
- 35

Fig. 18 eine siebte Ausführungsform eines Sensorelements,  
und

- 5 Fig. 19 die Temperaturabhängigkeit der Magnetisierung des  
Sensorelements aus Fig. 18.

Fig. 1 zeigt in Form einer Prinzipskizze eine Sensorbrücke 1  
10 bestehend aus zwei Sensorelementen  $R_1$  und zwei Sensorelemen-  
ten  $R_2$ , die nach Art einer Wheatstone'schen Brücke miteinan-  
der zur Temperaturkompensation verschaltet sind. Die Sensor-  
brücke ist, wie Fig. 2 zeigt, auf einem gemeinsamen Substrat  
angeordnet, wobei Fig. 2 lediglich eine Prinzipskizze der  
15 Brückenordnung zeigt. Bei der Sensorbrücke 1 gemäß Fig. 1  
können die Sensorelemente  $R_2$  selektiv aufgeheizt werden. Wie  
Fig. 2 zeigt, sind die Sensorbrücken 1 der Reihe nach hinter-  
einander angeordnet und über die jeweiligen Strompads C1 und  
C2 miteinander verbunden. Über die Sensorelemente 1 kann ein  
20 Strom geführt werden, was dazu führt, daß die Sensorelemente  
 $R_2$  infolge des Stromflusses erwärmt werden, die Sensorelemen-  
te  $R_1$  sind über Kurzschlußleiter 2 kurzgeschlossen und führen  
keinen oder sehr wenig Heizstrom, so daß sie nicht erwärmt  
werden. Die Ausbildung der Kurzschlußleiter ist relativ ein-  
25 fach möglich und mittels schmaler Streifenbahnen realisier-  
bar, zumal die Sensorelemente meist aus mäanderförmigen Lei-  
terbahnen bestehen, um ein bequemes Impedanzniveau zu errei-  
chen. Infolge der Anordnung der Kurzschlußleiter 2 und der  
Anordnung der Sensorbrücken 1 auf dem Substrat werden die  
30 Kurzschlußleiter während der Trennung der einzelnen Sensor-  
brücken unterbrochen, vgl. hierzu Fig. 3. Alternativ hierzu  
können die Kurzschlußleiter auch anschließend weggeätzt wer-  
den.

Die Fig. 4 und 5 zeigen eine weitere Ausführungsform. Die brückeneigenen Sensorelemente und Kontaktpads ( $C_{1,2}$  = Strompads,  $U_{1,2}$  = Spannungspads) sind so angeordnet, daß die  $R_2$ -Elemente außen liegen, und daß sowohl die  $R_2$ - wie auch die  $R_1$ -Elemente auf dem Substrat längs gerader Linien angeordnet sind. Die  $R_2$ -Elemente sind reihenweise über Leiter 3 elektrisch auf der Scheibe verbunden, jede Reihe wird während der Einstellung von einem Strom  $I_{\text{heiz}}$  durchflossen. Die  $R_1$ -Elemente liegen im Prinzip auf dem gleichen Potential, wie sich aus Fig. 4 ergibt, wonach das  $R_1$ -Element am Spannungspad  $U_2$  auf dem Potential  $V_h$  und das  $R_1$ -Element am Spannungspad  $U_1$  auf dem Potential  $V_h$  liegt. Sie führen folglich kaum Strom und werden nicht erwärmt.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung einer Sensorbrücke zeigt Fig. 6. Die  $R_1$ - und  $R_2$ -Elemente sind mäanderförmig strukturiert, innerhalb einer Brückenhälfte greift jeweils ein  $R_1$ -Element und ein  $R_2$ -Element ineinander. Diese „Verschachtelung“ führt zu einem besseren Temperatenausgleich sowie einem besseren mechanischen Spannungsausgleich der Elemente, was in einem geringeren Brücken-Offset resultiert. Um den ohnehin geringen durch die  $R_1$ -Elemente fließenden Heizstrom  $I_{\text{heiz}}$  noch weiter zu verringern, sind die Leiter 3, die die  $R_2$ -Elemente elektrisch miteinander kontaktieren, mittels Spannungsausgleichsleitungen 4 verbunden.

Fig. 7 zeigt in Form eines Diagramms das Prinzip der Strom-, Temperatur- und Einstellfeldführung. Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird das Einstellfeld, relativ schnell ansteigend, an das oder die Sensorelemente gelegt. Nach Erreichen eines Maximums bleibt das Feld für eine bestimmte Zeit konstant. Im Zeitpunkt  $t_2$  wird ein Strompuls über das oder die Sensorelemente geschickt, was gleichzeitig zu einem Ansteigen der Temperatur der stromdurchflossenen  $R_2$ -Elemente führt. Übersteigt die Elementtemperatur eine bestimmte Temperatur  $T_s$ , werden die

Sensorelemente  $R_2$  in einen anderen magnetischen Zustand versetzt. Nach dem Ausschalten des Feldes wird die Magnetisierung in einem dieser Biasschichten zur Magnetisierung der Biasschichten der  $R_1$ -Elemente entgegengesetzt ausgerichtet werden. Das Einstellfeld bleibt solange aufrechterhalten, bis die Temperatur deutlich oberhalb der Temperatur  $T_s$  ist. Im Zeitpunkt  $t_3$  wird der Strom abgestellt, was zu einem Absinken der Temperatur führt. Vorher wird bereits das Einstellfeld erniedrigt, im Zeitpunkt  $t_4$  liegt kein äußeres Feld mehr an. Wichtig ist, daß vor dem Absinken der Temperatur während der Kühlphase unter einen Grenzwert, nämlich die Temperatur  $T_s$  die Einstellung abgeschlossen ist und das Einstellfeld  $H_{\text{ein}}$  unterhalb einer bestimmten Grenze liegt. Man braucht zu diesem Zweck sowohl einen pulsförmigen Heizstrom- wie Feldverlauf. Die verträgliche Dauer der Aufheizung hängt stark vom Schichtaufbau ab, den benutzten Materialien, Materialkombinationen und vor allem von der Temperatur. Die Ausschaltzeit des Einstellfeldes  $H_{\text{ein}}$  muß deutlich kleiner als die Aufheizperiode sein.

20

Fig. 8 zeigt eine Prinzipskizze eines Sensorelements. Dieses besteht im gezeigten Ausführungsbeispiel aus dem Substrat 5, der Buffer-Schicht 6, der Meßschicht 7, der Entkopplungsschicht 8, und dem AAF-System 9, bestehend aus der Bias-schicht I, der Flußführungsschicht II und der antiferromagnetischen Kopplungsschicht III. Der Grundgedanke ist, wie beschrieben, die magnetischen Eigenschaften der  $R_2$ -Elemente durch lokale Temperaturerhöhung derartig zu ändern, daß die Biasschicht-Magnetisierungen der  $R_1$ - und  $R_2$ -Elemente sich entgegengesetzt ausrichten lassen. Hierzu nützt man die Temperaturabhängigkeit der Sättigungsmagnetisierung und/oder der Koerzitivität und/oder der Anisotropie. Innerhalb des Operationstemperaturfensters, also des Temperaturbereichs innerhalb welchem das Sensorelement oder die Brücke betrieben wird, sollen die Elemente möglichst konstant sein. Das heißt,

35

die Einstelltemperatur  $T_1$  bzw.  $T_2$  entweder der  $R_1$ - und/oder der  $R_2$ -Elemente soll vorzugsweise entweder ober- oder unterhalb dieses Fensters liegen. Prinzipiell bestehen zwei Möglichkeiten: Entweder werden die  $R_2$ -Elemente auf Temperaturen oberhalb des Operationstemperaturfenster geheizt, oder das ganze Substrat wird stark abgekühlt und die  $R_2$ -Elemente werden erhitzt, wobei in diesem Fall die Temperatur durchaus auch im Operationstemperaturfenster liegen darf, oder aber darüber.

Wie beschrieben, kann die Erzeugung der für das unterschiedliche Temperaturverhalten der Schichten I, II verantwortliche Asymmetrie mit Hilfe der magnetischen Momente dieser Schichten erzeugt werden. Ausgehend vom in Fig. 8 gezeigten Sensorelement sei angenommen, daß die Schicht II eine niedrigere Curie-Temperatur  $T_{c2}$  besitzt als die Schicht I. Es sei angenommen, daß die Magnetisierung der Schicht II parallel zum Einstellfeld  $H_{\text{ein}}$  liegt. Das heißt,  $m_2 > m_1$ . Eine Umkehrung der Einstellung über eine lokale Temperaturerhöhung kann erreicht werden, wenn die Curie-Temperatur  $T_{c2}$  der Schicht II genügend tief ist. Fig. 9 veranschaulicht den Verlauf der Magnetisierung in Abhängigkeit der Temperatur. Die niedrige Curie-Temperatur  $T_{c2}$  der Schicht II führt dazu, daß sich die Sättigungsmagnetisierung der  $R_2$ -Elemente deutlich um den Betrag  $\Delta M_2$  erniedrigt, wenn die  $R_2$ -Elemente auf die Einstelltemperatur  $T_2$  erwärmt werden, die  $R_1$ -Elemente weisen die niedrigere Temperatur  $T_1$  (z. B. Raumtemperatur) auf. Eine Umkehrung erfolgt, wenn  $m_2 < m_1$  ist. Es ist offensichtlich, daß die Magnetisierungen bzw. die Momentenverteilung zwischen den Schichten I und II auch vertauscht sein kann. Als Materialien für die Schicht, deren Magnetisierung umzukehren ist, eignen sich Ni-reiche Legierungen. Auch NiFeCo-Legierungen mit zu legierten nichtmagnetischen Elementen wie z. B. V, Cr, Pt, Pd und seltenen Erden wie Sm, Tb, Nd etc. können verwendet werden.



Wie Fig. 9 ferner zu entnehmen ist, liegt die Einstelltemperatur der  $R_1$ -Sensoren innerhalb des Operationstemperaturfensters. Die der  $R_2$ -Sensoren liegt darüber, jedoch noch unterhalb der Curie-Temperatur der zu bearbeitenden Schicht.

5

Fig. 10 zeigt ein Sensorelement mit zwei AAF-Systemen, die zwischen sich eine entkoppelte Meßschicht aufnehmen. Wie der zugehörigen Fig. 11 zu entnehmen ist, sind die Curie-Temperaturen der beiden Schichten I, II gleich und liegen  
10 hoch, so daß die physikalischen Schichtparameter möglichst stabil sind. Die Schichten II sind im gezeigten Beispiel mit zwei weiteren Schichten IV, sogenannten Bilanzschichten gekoppelt, das heißt, die beiden Magnetisierungen sind gekoppelt. Die Curie-Temperaturen der weiteren Schichten IV liegen  
15 unterhalb des Operationstemperaturfensters, siehe Fig. 11. Zur Einstellung der  $R_2$ -Sensoren wird nun das gesamte Sensorsystem auf eine Temperatur  $T_1$  unterhalb des Operationsfensters abgekühlt, wobei diese Temperatur noch unterhalb der Curie-Temperatur  $T_{c4}$  der weiteren Schicht liegt. Infolge der  
20 Kopplung der Schichten II mit den weiteren Schichten IV richten sich die magnetischen Momente beider Schichten ferromagnetisch aus. Das effektive Moment der jeweiligen Schicht II steigt deswegen stärker an als das Moment der Schicht I. Da die  $R_2$ -Sensoren lokal auf eine Temperatur von oberhalb  $T_{c4}$   
25 aufgeheizt werden ( $T_2 > T_{c4}$ ) muß das Moment der Schicht I der  $R_2$ -Sensoren größer sein als das Moment der Schicht II bei dieser Temperatur. Dies zeigt sich in Fig. 11 an der sich ergebenden Magnetisierungsdifferenz von  $\Delta M_4$ . Dies ist der von der Bilanzschicht verursachte Beitrag. Eine entgegengesetzte  
30 Ausrichtung der Magnetisierung erfolgt auch hier, wenn das Verhältnis der Gesamtmomente der Schichten I und II mit IV der erwärmten  $R_2$ -Sensoren umgekehrt ist.

Fig. 12 zeigt eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements mit einem symmetrischen AAF-System bestehend aus drei  
35

Magnetschichten. An den Außenseiten des AAF-Systems sind zwei weitere Schichten IV (Bilanzschichten) vorgesehen. Neben der geringeren Temperaturbelastung dieses Systems besteht hier ferner die Möglichkeit ein Sensorelement mit vielen Perioden zu realisieren.

Die Fig. 13 und 14 zeigen eine weitere Ausführungsform eines Sensorelements. Die dort gekoppelte weitere Bilanz-Schicht IV besitzt eine Curie-Temperatur  $T_{c4}$  oberhalb des Operationstemperaturfensters. Die Schicht ist eine ferri- oder ferromagnetische Schicht, die mit der Schicht II des AAF-Systems gekoppelt ist. Die Schichten I und II können im Prinzip aus identischem Material bestehen und eine hohe Curie-Temperatur besitzen. Im Falle einer ferrimagnetischen weiteren Schicht IV besitzt, vgl. Fig. 14, die Schicht I der  $R_1$ -Sensoren bei deren Einstelltemperatur  $T_1$  das größere magnetische Moment und steht parallel zum Einstellfeld. Bei den  $R_2$ -Sensoren ist dies gerade umgekehrt aufgrund des fehlenden Moments der Bilanzschicht ( $\Delta M_4$ ). Infolgedessen steht bei diesen Elementen das Moment der Schicht I parallel zum Einstellfeld.

Fig. 15 zeigt eine weitere Ausführungsform eines AAF-Systems bestehend aus zwei Biasschichten und zwei daran entkoppelt angeordneten Flußführungsschichten. Zwischen den Biasschichten II ist die weitere Schicht IV aufgenommen, das heißt, eine einzige weitere Schicht dient hier zur Erzeugung der koppelungsbedingten Asymmetrie.

Als Materialien für die beschriebenen Schichtsysteme können für die weitere Schicht NiFeCo-Legierungen mit Zusätzen von nicht magnetischen Elementen wie z.B. V, Cr, Pt, Pd sowie seltene Erd/Übergangsmetallegierungen wie  $(Fe_xCo_{1-x})_{1-y}X_y$  mit  $X =$  z.B. Sm, Tb, Nd, Gd, Dy etc. Für die Schichten des AAF-Systems können NiFeCo-Legierungen mit wenig Zulegierungs-

bestandteilen oder Multischichten aus diesen Elementen verwendet werden.

Alternativ zur oben beschriebenen Erzeugung der erforderlichen Asymmetrie kann diese auch über unterschiedliche Koerzitivitäten oder entsprechende Anisotropien der relevanten Magnetschichten des AAF-Systems erzeugt werden, wobei auch eine Kombination mit der Momentvariante möglich ist. Haben die Bias- und die Flußführungsschicht eines AAF-Systems die gleichen Momente, muß für eine Einstellung die magnetische Reibung (Koerzitivität) oder die Anisotropie der Schichten entsprechend gewählt werden. Es sei angenommen, daß die Gesamtreibung (oder Anisotropieenergie) der Schicht II größer als die der Schicht I ist. In diesem Fall gilt:

$$\tau_2 d_2 > \tau_1 d_1, \text{ mit } \tau = \text{Drehreibungsvolumendichte, } d = \text{Schichtdicke,}$$

bzw. für die Anisotropie

$$K_2 d_2 > K_1 d_1, \text{ mit } K = \text{uniaxiale Anisotropiekonstante.}$$

Hiervon ausgehend stellt sich die Biasschichtmagnetisierung parallel zum Einstellfeld ein wenn dieses Feld parallel zur leichten Richtung anliegt. Bei Abkühlung wird eine mit der Flußführungsschicht I gekoppelte weitere Schicht IV vom paramagnetischen in den permanentpolarisierten Zustand übergehen. Im Falle einer antiferromagnetischen weiteren Schicht IV wird dies bei der Néel-Temperatur passieren. Die effektive Drehreibung oder Anisotropieenergiedichte der Bilanzschicht-Flußführungsschicht-Kombination nimmt um den Betrag  $\tau_4 d_4$  bzw.  $K_4 d_4$  zu. In der gekühlten Schichtkombination richtet sich die Magnetisierung der Flußführungsschicht dann parallel zum Einstellfeld aus, wenn

$$\tau_2 d_2 < \tau_1 d_1 + \tau_4 d_4 \text{ bzw.}$$

$$K_2 d_2 < K_1 d_1 + K_4 d_4 \text{ ist.}$$

5

Hierfür müssen die  $R_2$ -Elemente mittels des Erwärmungsstroms über z.B. die Néel-Temperatur erwärmt werden. Auch hier kann ein Material für die Bilanzschicht mit einer Übergangstemperatur oberhalb des Operationstemperaturfensters gewählt werden. Die  $R_1$ -Sensoren werden dann im Arbeitstemperaturfenster eingestellt, die  $R_2$ -Sensoren oberhalb der Übergangstemperatur. Als Materialien für die weitere Schicht können antiferromagnetische Schichten wie:

15 NiO(500K), CoO(290K), FeMn(530K), FeO(200K), MnO(120K),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ (310K),  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (950K), wobei in den Klammern die jeweilige Néel-Temperatur angegeben ist.

Auch ferrimagnetische Materialien können als Bilanzschichten zur Kontrolle der Anisotropie wie der Koerzitivität benutzt werden. In vielen Seltene-Erd-reichen Materialien ist es leicht, eine uniaxiale Anisotropie über Feldinduktion oder über magnetoelastische Kopplung zu erzeugen.

25 Fig. 16 zeigt eine ferrimagnetische weitere Schicht IV mit einer Kompensationstemperatur  $T_{\text{komp}}$  und einer Curie-Temperatur  $T_{c4}$  vorzugsweise unterhalb dem Operationstemperaturfenster, vgl. Fig. 17. Die weitere Schicht IV ist mit der Schicht II gekoppelt. Die Einstelltemperatur  $T_1$  der  $R_1$ -Sensoren liegt  
30 nahe der Kompensationstemperatur, so daß der magnetische Momentbeitrag der weiteren Bilanzschicht fast Null ist, während das Drehreibungsmoment zunimmt verglichen mit einem Schichtsystem ohne weiterer Schicht. Man kann auf diese Weise eine reine Steuerung über die Koerzitivität realisieren. Auch eine  
35 Kombination von Momenten- und Koerzitivitätssteuerung ist oh-

- ne weiteres möglich. Die Schichten I und II bestehen vorwiegend aus Co, Ni und Fe als Träger der magnetischen Momente. Ist das ferrimagnetische Bilanzschichtmedium eine Seltene-Erd/Übergangsmetallegierung, dann überwiegt oberhalb der Kompensationstemperatur das Moment des Übergangsmetalls, das in diesem Fall ferromagnetisch mit der Schicht II gekoppelt ist. Unterhalb der Kompensationstemperatur überwiegt das Moment des Seltenen-Erd-Elements, das für die schweren Seltenen-Erd-Elemente der Magnetisierung der Biasschicht II entgegengesetzt gerichtet ist. Eine Abnahme der Gesamtmagnetisierung der Kombination Schicht II, -Bilanzschicht verstärkt die Tendenz der Schicht I sich parallel zum Einstellfeld auszurichten.
- Die Fig. 18 und 19 zeigen schließlich eine letzte Ausführungsform mit ferrimagnetischen weiteren Schichten in den mittleren AAF-Schichten. Im Operationstemperaturfenster sollten sich die Momente der Flußführungsschichten und der Bias-schichten mit angekoppelten Bilanzschichten vorzugsweise kompensieren. Wird zur Einstellung der  $R_2$ -Elemente deren Einstelltemperatur  $T_2$  über die Curie-Temperatur ( $T_{C4}$ ) der Bilanzschichten IV erhöht, so ist sowohl der Reibungs- (oder der Anisotropiebeitrag) wie der Magnetisierungsbeitrag der Bilanzschicht Null. Bei den auf der Temperatur  $T_1$  gehaltenen  $R_1$ -Elementen zwingt der Reibungsbeitrag und/oder der Anisotropiebeitrag der Bilanzschicht die Magnetisierung der Schicht II parallel zum Einstellfeld. Auch hier richten sich dann die Magnetisierungen der Biasschichten der  $R_1$ - und  $R_2$ -Elemente entgegengesetzt zum Einstellfeld. Als Materialien für die weitere Schicht IV bieten sich bei diesem System seltene Erd/Übergangsmetallegierungen wie  $(\text{Fe}_x\text{Co}_{1-x})_{1-y}\text{X}_y$  an mit,  $X = \text{z.B. Tb, Gd, Dy, Ho}$ . Ferner können oxidische Ferrimagneten wie Ferrite verwendet werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung mindestens einer Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, g e -  
k e n n z e i c h n e t durch folgende Schritte:
- a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements über oder unter eine vorbestimmte Temperatur,
  - b) Anlegen des magnetischen Einstellfelds während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen,
  - c) Abschalten des Einstellfelds nach einer vorbestimmten Zeit,
  - d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei mindestens zwei Sensorelemente vorhanden sind, wobei die Magnetisierung der Bias-schicht der beiden Sensorelemente oder bei mehr als zwei Sensorelementen die Magnetisierung eines Teils der Sensorelemente zu der der anderen entgegengesetzt gerichtet sein soll, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß lediglich ein Sensorelement oder der entsprechende Teil der Sensorelemente erwärmt oder abgekühlt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, d a d u r c h g e - k e n n z e i c h n e t, daß vor der Erwärmung oder Abkühlung des oder der Sensorelemente alle Sensorelemente abgekühlt oder erwärmt werden und die dabei erreichte Temperatur

für die anschließend nicht erwärmten oder abgekühlten Sensorelemente beibehalten wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei die mehreren  
5 Sensorelemente auf einem gemeinsamen Substrat in Form von Sensorbrücken zur Bildung von Winkelsensoren, insbesondere von 360°-Winkelsensoren angeordnet sind, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, daß Erwärmung oder Abkühlung der entsprechenden Sensorelemente lokal erfolgt.

10

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Erwärmung mittels pulsartig über das oder die Sensorelemente geführter Ströme erfolgt.

15

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Abschaltzeit für das Einstellfeld zeitlich früher liegt als der Zeitpunkt, an dem die Temperatur bei Rückkehr zum Arbeitstemperaturfenster einen kritischen Wert durchläuft, bei dem die  
20 infolge der Temperaturerhöhung erhaltene Asymmetrie noch gegeben ist.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das oder die Sensorelemente auf eine Temperatur erwärmt oder abgekühlt werden, die außerhalb und höher oder niedriger liegt als der Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind.

30

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 6, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß bei vorheriger Abkühlung der Sensorelemente die anschließende Erwärmungstemperatur des oder der jeweiligen Sensorelemente innerhalb des  
35 Temperaturbereichs oder außerhalb und höher liegt als der

Temperaturbereich, innerhalb welchem das oder die Sensorelemente betreibbar sind.

9. Sensorelement oder Sensorelementensystem umfassend mehrere Sensorelemente, wobei die Biasschicht des oder der Sensorelemente gemäß dem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 8 eingestellt ist.
10. Sensorelementensystem nach Anspruch 9, mit vier Sensorelementen oder einem Vielfachen davon, dadurch gekennzeichnet, daß die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.
11. Sensorelement mit mindestens einer Biasschicht, die Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, wobei die Magnetisierung der Biasschicht insbesondere mittels des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 8 in entgegengesetzter Richtung zur Magnetisierung der Flußführungsschicht einstellbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß das Temperaturverhalten der Magnetisierung der Biasschicht (I) und der Flußführungsschicht (II) in einem homogenen magnetischen Einstellfeld ( $H_{\text{ein}}$ ) bedingt durch eine zwischen den Schichten (I, II) gegebene Asymmetrie unterschiedlich ist.
12. Sensorelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Biasschicht (I) und die Flußführungsschicht (II) zur Erzeugung der Asymmetrie bei der Einstelltemperatur unterschiedlich große magnetische Momente besitzen.



13. Sensorelement nach Anspruch 11 oder 12, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, daß die Biasschicht (I) und  
die Flußführungsschicht (I), gegebenenfalls zusätzlich, zur  
Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche Dicken aufweisen.

5

14. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 13,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Bias-  
schicht (I) und die Flußführungsschicht (II), gegebenenfalls  
zusätzlich, zur Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche

10 Anisotropien besitzen.

15. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 14,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Bias-  
schicht (I) und die Flußführungsschicht (II), gegebenenfalls  
15 zusätzlich, zur Erzeugung der Asymmetrie unterschiedliche  
Koezitivitäten besitzen.

16. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 15,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß, gegeb-  
20 enfalls zusätzlich, die Asymmetrie mittels einer an die Bi-  
asschicht (I) oder die Flußführungsschicht (II) gekoppelten  
weiteren ferri-, ferro- oder antiferromagnetischen Schicht  
(IV) erzeugt ist.

25 17. Sensorelement nach Anspruch 16, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t, daß die Phasenübergangstemperatur  
der weiteren Schicht (IV) niedriger als die Curie-Tempe-  
raturen der Biasschicht (I) und der Flußführungsschicht (II)  
ist.

30

18. Sensorelement nach Anspruch 17, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t, daß die Biasschicht (I) und die  
Flußführungsschicht (II) aus dem gleichen Material bestehen.

24

19. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zwei wei-  
tere Schichten (IV) vorgesehen sind, die an die beiden im  
AAF-System außenliegenden Flußführungsschichten (I) gekoppelt  
5 sind.

20. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zwei wei-  
tere Schichten (IV) vorgesehen sind, die an die außen liegen-  
10 den Flußführungsschichten (II) zweier eine entkoppelte Meß-  
schicht (7) zwischen sich aufnehmende AAF-Systeme gekoppelt  
sind.

21. Sensorelement nach einem der Ansprüche 16 bis 18,  
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das AAF-  
System zwei die weitere Schicht (IV) zwischen sich aufnehmen-  
de Biasschichten (I) aufweist.

22. Sensorelement nach einem der Ansprüche 11 bis 20,  
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Magne-  
tisierung und/oder die Anisotropie und/oder die Hysteresis  
derart stark temperaturabhängig ist, daß sich von einem Ein-  
stellfeld mit fester Orientierung mindestens zwei unter-  
schiedliche Biasmagnetisierungen einstellen lassen.

25

23. Sensorsubstrat mit mehreren Sensorelementen, , d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Sensorele-  
mente nach einem der Ansprüche 10 bis 20 ausgebildet sind,  
und daß Mittel zum lokalen Erwärmen eines oder mehrere Senso-  
30 relement vorgesehen sind.

24. Sensorsubstrat nach Anspruch 23, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel eine Erwärmung mit-  
tels eines über das oder die Sensorelemente fließenden Stroms  
35 ermöglichen.

25. Sensorsubstrat nach Anspruch 23 oder 24, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t, daß jeweils vier Sensorelement  
zur Bildung einer Sensorbrücke miteinander verschaltet sind,  
5 und daß die Mittel zum Erwärmen derart ausgebildet und ange-  
ordnet sind, daß jeweils zwei Sensorelement erwärmbar sind.

26. Sensorsubstrat nach Anspruch 25, wobei auf dem Sensor-  
substrat mehrere Sensorbrücken angeordnet sind, d a -  
10 d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel  
derart angeordnet sind, daß sie beim Trennen der Sensorbrük-  
ken voneinander unterbrochen werden.

27. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 26,  
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Senso-  
relemente und/oder die Mittel derart angeordnet sind, daß der  
Erwärmungsstrom über mehrere Sensorelemente, gegebenenfalls  
Sensorbrücken führbar ist.

20 28. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 27,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß jeweils  
zwei Sensorelemente einer Sensorbrücke kurzschließende Kurz-  
schlußleiter (2) aufweisen, wobei der Erwärmungsstrom über  
die beiden nicht kurzgeschlossenen, zu erwärmenden Sensorele-  
25 mente führbar ist.

29. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 27,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Mittel  
als die zu erwärmenden Sensorelemente verbindende Leiter (3)  
30 ausgebildet sind, wobei die Anschlußpunkte jedes nicht zu er-  
wärmenden Sensorelementes im wesentlichen auf dem gleichen  
Potential liegen.

30. Sensorsubstrat nach Anspruch 29, d a d u r c h g e -  
35 k e n n z e i c h n e t, daß wenigstens eine Spannungsaus-

26

gleichsleitung (4) zwischen zwei der Erwärmung zweier Sensorelemente einer Sensorbrücke dienenden Leitern (3) vorgesehen ist.

- 5 31. Sensorsubstrat nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß die mittels der Leiter (3) verbundenen Sensorelemente längs einer oder mehrere im wesentlichen gerader Linien angeordnet sind.
- 10 32. Sensorsubstrat nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente einer Sensorbrücke mäanderförmig ausgebildet sind, wobei jeweils zwei Sensorelemente ineinander eingreifend angeordnet sind.
- 15 33. Sensorsubstrat nach einem der Ansprüche 23 bis 32, mit vier Sensorelementen oder einem Vielfachen davon, dadurch gekennzeichnet, daß die vier oder jeweils vier Sensorelemente eine Wheatstone'sche Brücke bilden.

1/7

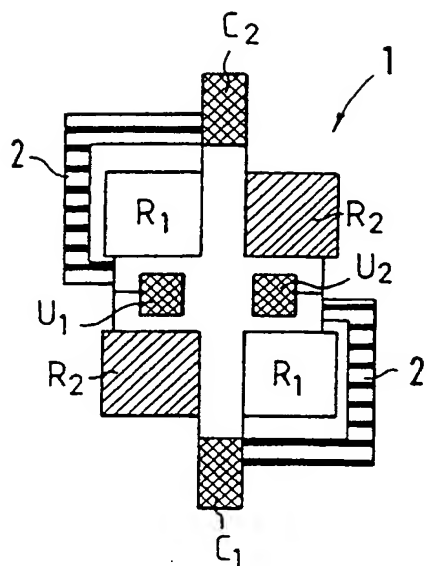


FIG. 1

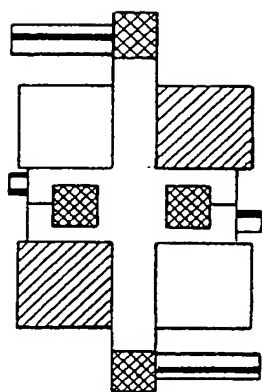


FIG. 3

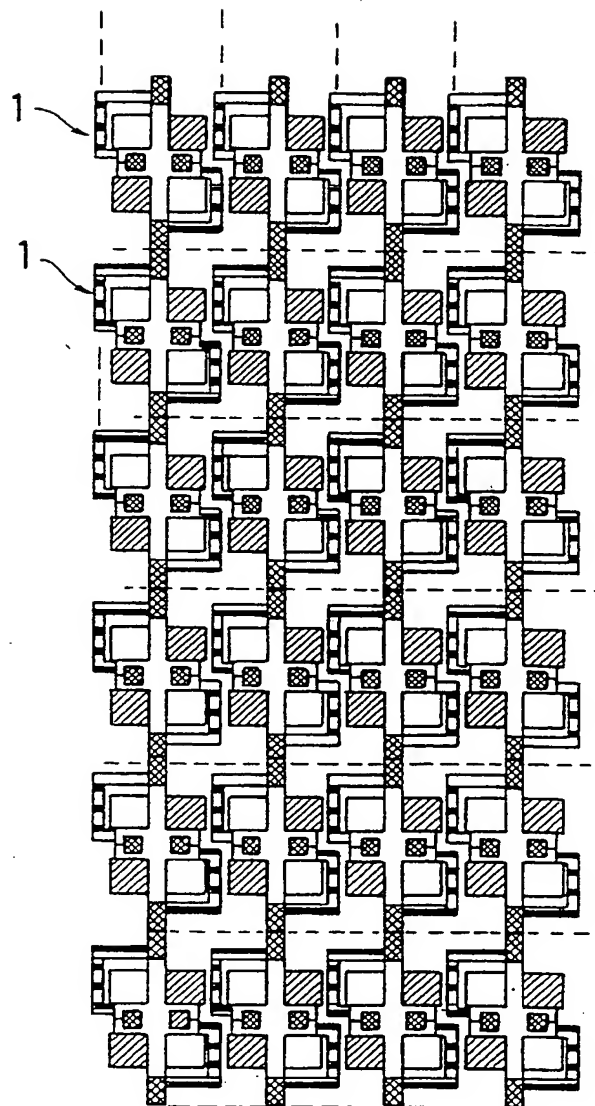


FIG. 2

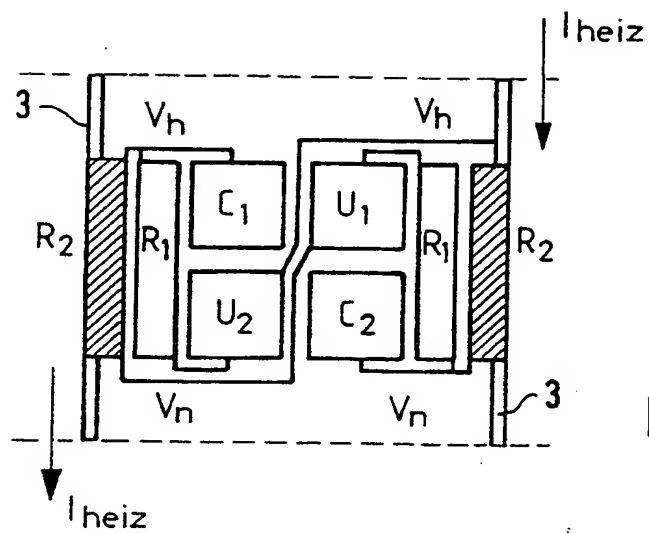


FIG. 4

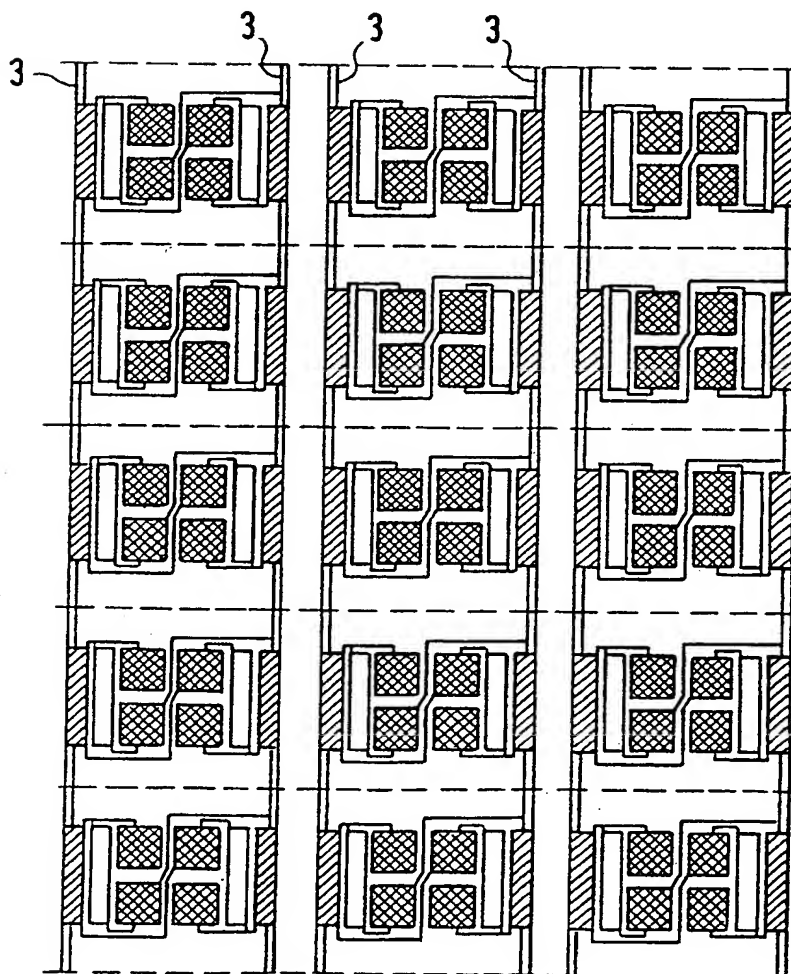


FIG. 5

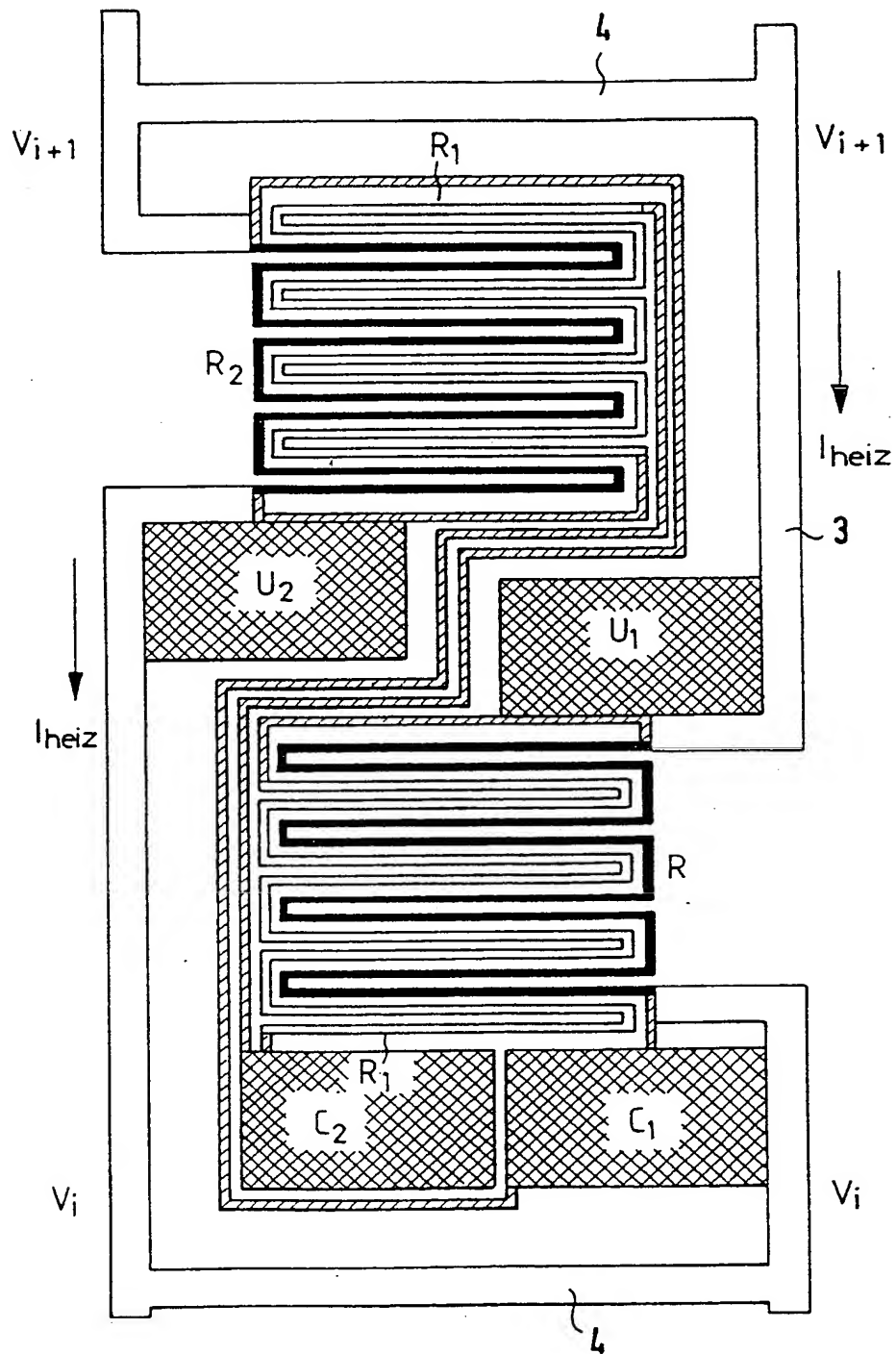


FIG. 6

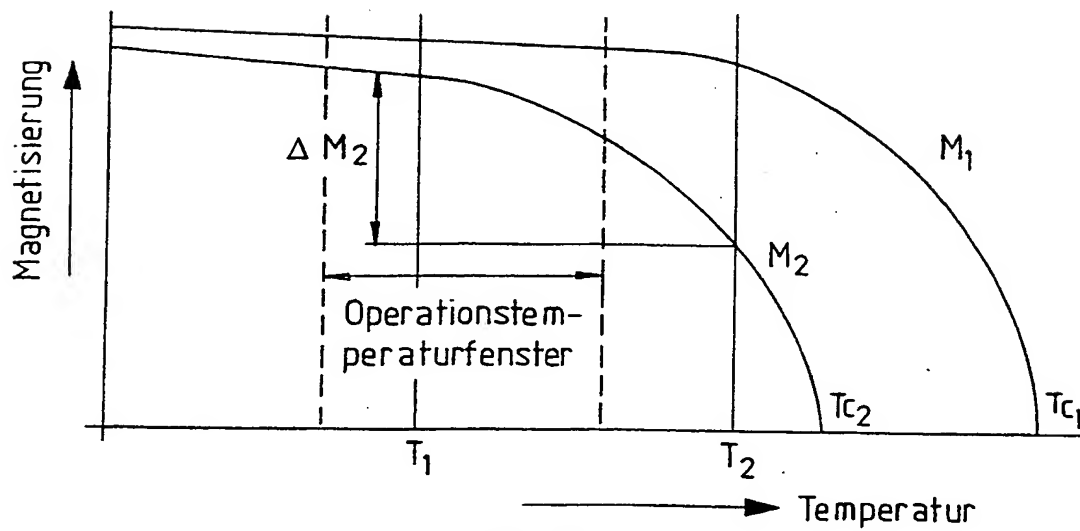
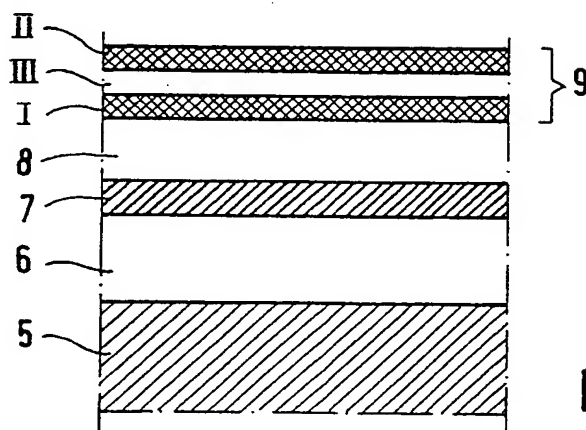
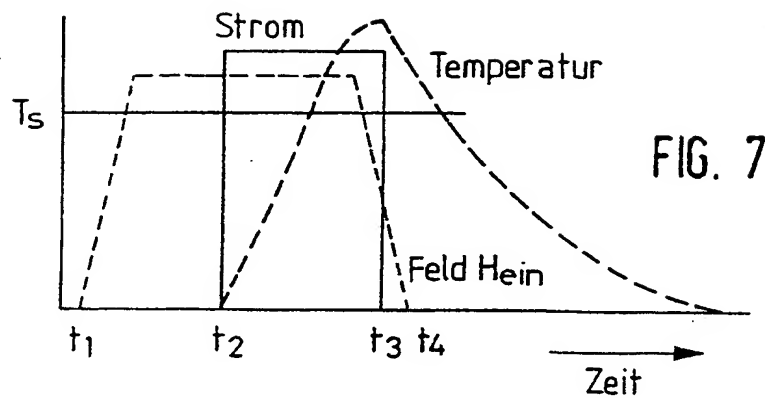


FIG. 9



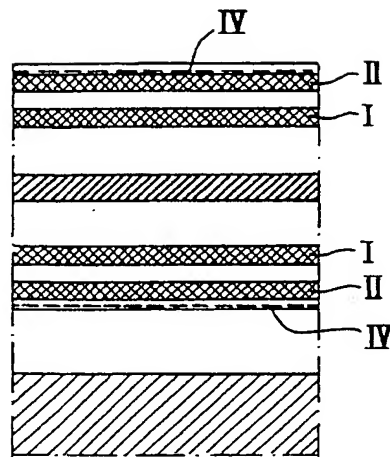


FIG. 10

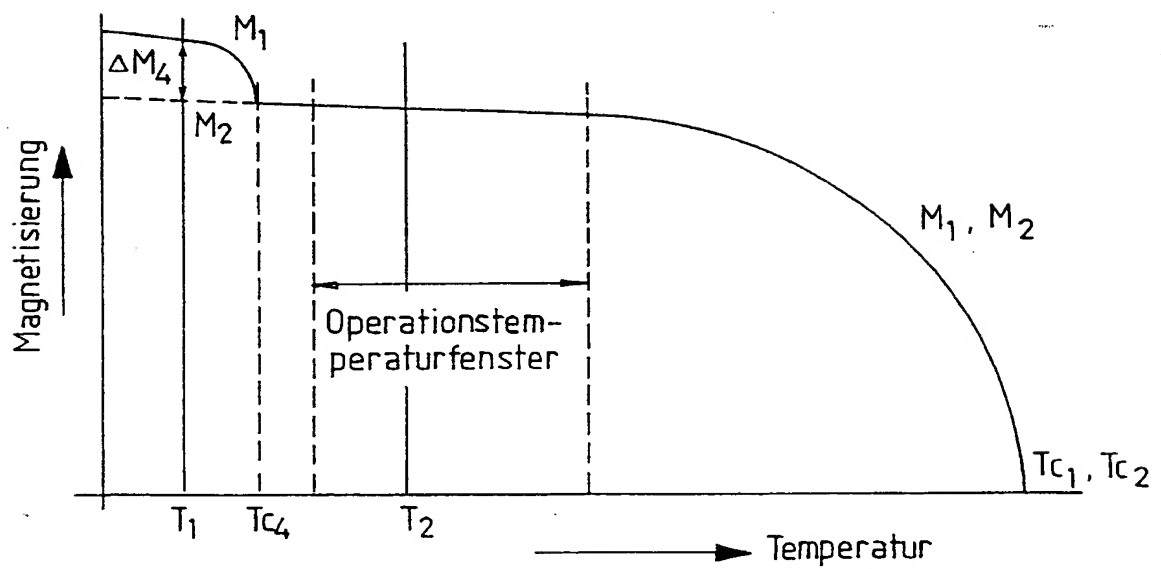


FIG. 11

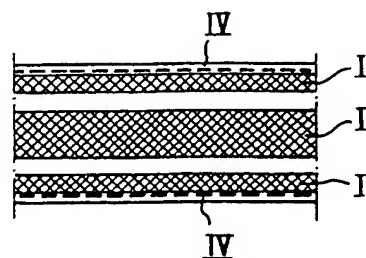


FIG. 12

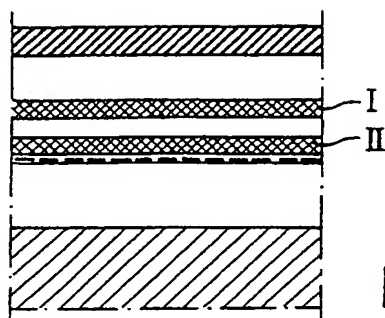


FIG. 13

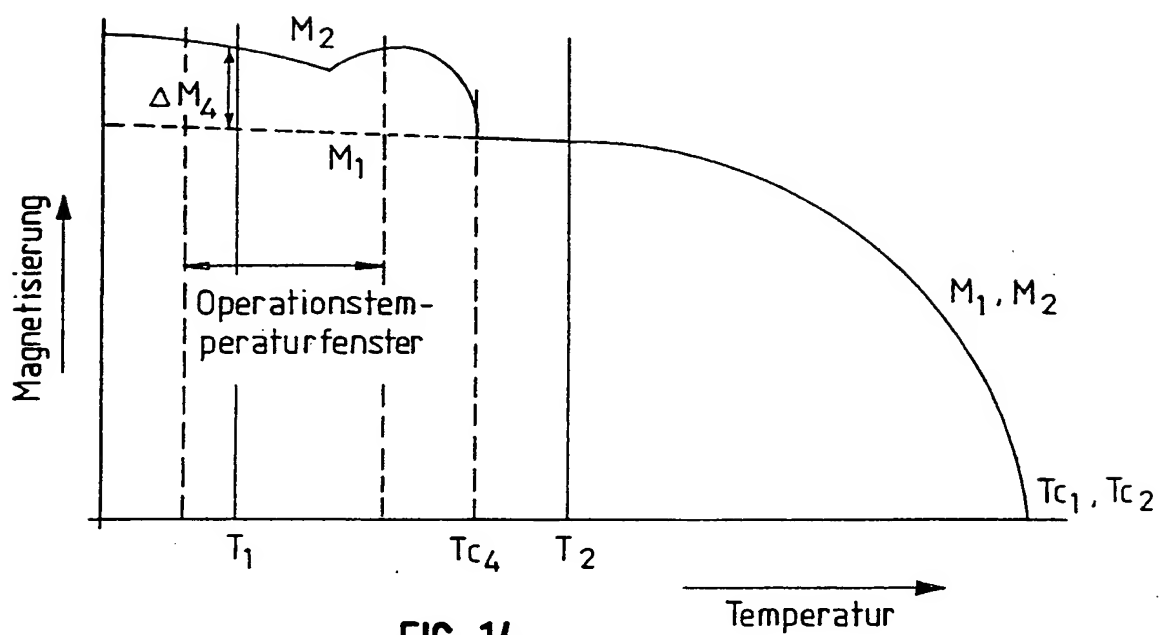


FIG. 14

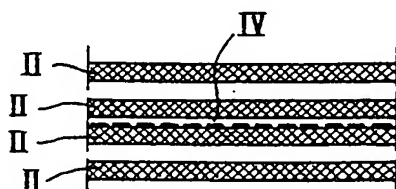


FIG. 15

7 / 7

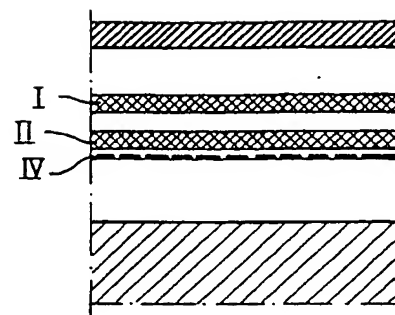


FIG. 16

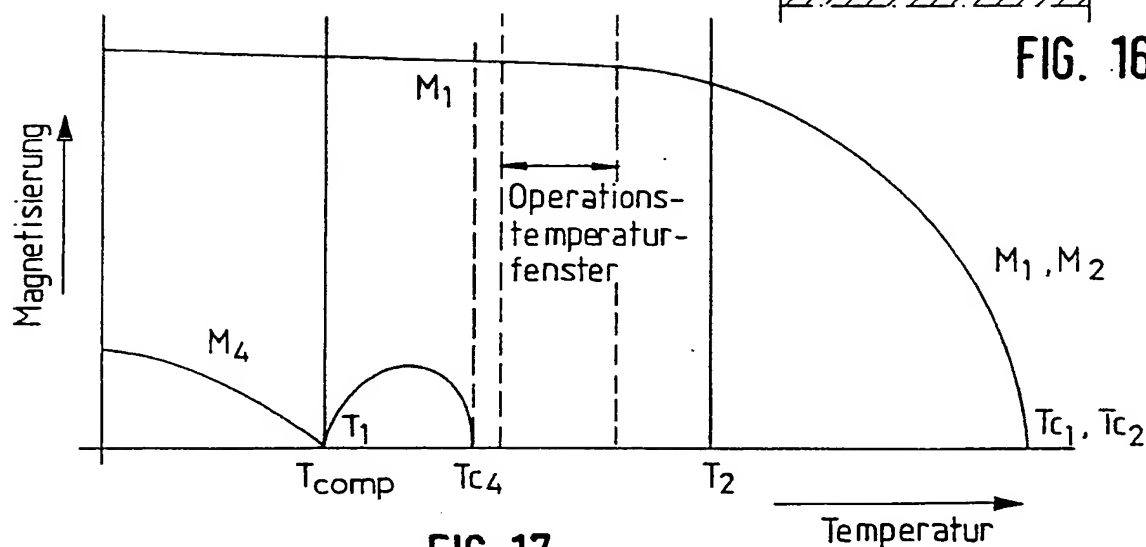


FIG. 17

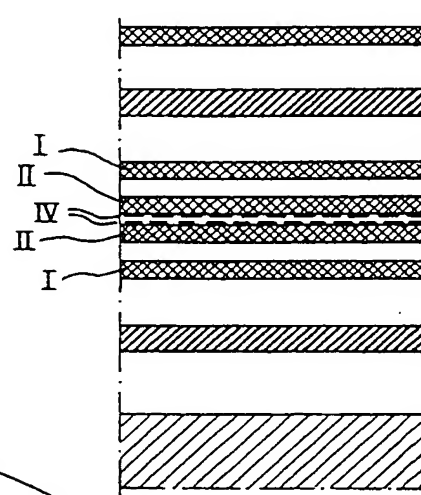


FIG. 18

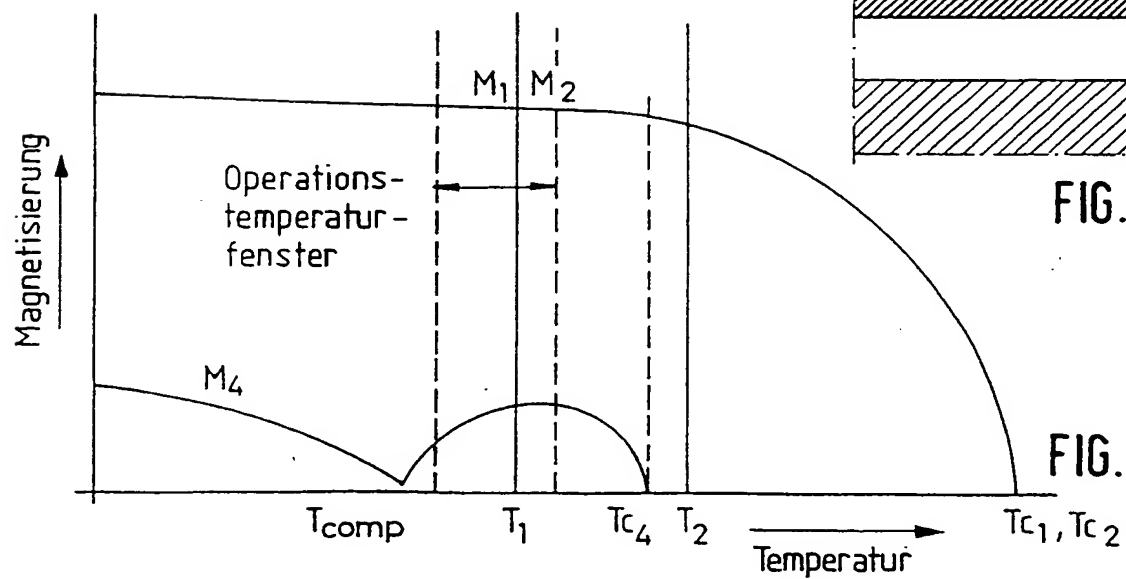


FIG. 19

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

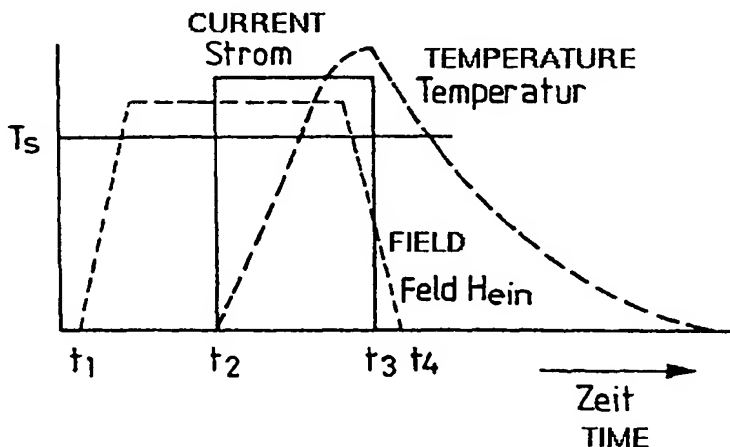
(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>G01R 33/09</b>	<b>A3</b>	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/02006</b> (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 13. Januar 2000 (13.01.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/02017 (22) Internationales Anmeldedatum: 1. Juli 1999 (01.07.99)  (30) Prioritätsdaten: 198 30 344.0 7. Juli 1998 (07.07.98) DE  (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).  (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VAN DEN BERG, Hugo [NL/DE]; Dr.-Dassler-Strasse 4, D-91074 Herzogenau- rach (DE). MATTHEIS, Roland [DE/DE]; Talstrasse 36, D-07743 Jena (DE).  (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE- SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht.  (88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchen- richts: 31. August 2000 (31.08.00)

(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE MAGNETIZATION OF THE BIAS LAYER OF A MAGNETORESISTIVE SENSOR ELEMENT, SENSOR ELEMENT OR SENSOR ELEMENT SYSTEM PROCESSED ACCORDING TO SAID METHOD AND SENSOR ELEMENT AND SENSOR SUBSTRATE SUITABLE FOR THE IMPLEMENTATION OF SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM EINSTELLEN DER MAGNETISIERUNG DER BIASSCHICHT EINES MAGNETO-RESISTIVEN SENSORELEMENTS, DEMGEMÄSS BEARBEITETES SENSORELEMENT ODER SENSORELEMENTSYSTEM SOWIE ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS GEEIGNETES SENSORELEMENT UND SENSORSUBSTRAT

(57) Abstract

The invention relates to a method for regulating the magnetization of at least one bias layer of a magnetoresistive sensor element, whereby the bias layer is part of an AAF (artificial antiferromagnetic) system consisting of at least one bias layer, at least one flux conducting layer and at least one connecting layer that is arranged between said layers and connects them antiferromagnetically. The inventive method comprises the following steps: a) the sensor element is heated to above a predetermined temperature ( $T_s$ ) or cooled to below a predetermined temperature ( $T_s$ ), b) a magnetic regulating field ( $H_{ein}$ ) is applied during and/or after heating or cooling, c) the regulating field ( $H_{ein}$ ) is no longer applied after a predetermined time period, and d) the temperature is brought back to the initial temperature.



(57) Zusammenfassung

Verfahren zum Einstellen der Magnetisierung mindestens einer Biasschicht eines magneto-resistiven Sensorelements, wobei die Biasschicht Teil eines AAF-Systems (artificial-antiferromagnetic-system) ist bestehend aus mindestens einer Biasschicht, mindestens einer Flußführungsschicht und mindestens einer zwischen diesen angeordneten, beide Schichten antiferromagnetisch koppelnden Kopplungsschicht, umfassend folgende Schritte: a) Erwärmen oder Abkühlen des Sensorelements über oder unter eine vorbestimmte Temperatur ( $T_s$ ), b) Anlegen eines magnetischen Einstellfelds ( $H_{ein}$ ) während und/oder nach dem Erwärmen oder Abkühlen, c) Abschalten des Einstellfelds ( $H_{ein}$ ) nach einer vorbestimmten Zeit, d) Rückführen der Temperatur auf die Ausgangstemperatur.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidsschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/02017

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01R33/09

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01R H01L H01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 701 222 A (GILL HARDAYAL SINGH ET AL) 23 December 1997 (1997-12-23) column 5, line 23 - line 59 column 6, line 60 - column 7, line 34	1
A	abstract	7-9, 11-18
A	US 5 677 625 A (DIENY BERNARD) 14 October 1997 (1997-10-14) column 7, line 46 - line 57	1,7-9
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 January 2000

Date of mailing of the international search report

31/01/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Swartjes, H

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal Application No

PCT/DE 99/02017

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>BERG VAN DEN H A M ET AL: "GMR SENSOR SCHEME WITH ARTIFICIAL ANTIFERROMAGNETIC SUBSYSTEM"</p> <p>IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, US, IEEE INC. NEW YORK,</p> <p>vol. 32, no. 5,</p> <p>1 September 1996 (1996-09-01), pages 4624-4626, XP000634087</p> <p>ISSN: 0018-9464</p> <p>page 4624, right-hand column, line 1 - line 10</p> <p style="text-align: center;">----</p>	1, 11, 23
A	<p>BERG VAN DEN H A M ET AL: "GMR ANGLE DETECTOR WITH AN ARTIFICIAL ANTIFERROMAGNETIC SUBSYSTEM (AAF)"</p> <p>JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS, NL, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM,</p> <p>vol. 165, no. 1/03,</p> <p>1 January 1997 (1997-01-01), pages 524-528, XP000641835</p> <p>ISSN: 0304-8853</p> <p>page 525, right-hand column, paragraph 2.2</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1, 11, 23

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

information on patent family members

Inte. onal Application No

PCT/DE 99/02017

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5701222 A	23-12-1997	CN 1148710 A JP 9147326 A SG 43377 A	30-04-1997 06-06-1997 17-10-1997
US 5677625 A	14-10-1997	FR 2729790 A EP 0724302 A JP 9036456 A	26-07-1996 31-07-1996 07-02-1997



# INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/02017

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01R33/09

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G01R H01L H01F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 701 222 A (GILL HARDAYAL SINGH ET AL) 23. Dezember 1997 (1997-12-23) Spalte 5, Zeile 23 - Zeile 59 Spalte 6, Zeile 60 - Spalte 7, Zeile 34	1
A	Zusammenfassung	7-9, 11-18
A	US 5 677 625 A (DIENY BERNARD) 14. Oktober 1997 (1997-10-14) Spalte 7, Zeile 46 - Zeile 57	1,7-9
	----	
	-/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. Januar 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

31/01/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Swartjes, H

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	BERG VAN DEN H A M ET AL: "GMR SENSOR SCHEME WITH ARTIFICIAL ANTIFERROMAGNETIC SUBSYSTEM" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS,US,IEEE INC. NEW YORK, Bd. 32, Nr. 5, 1. September 1996 (1996-09-01), Seiten 4624-4626, XP000634087 ISSN: 0018-9464 Seite 4624, rechte Spalte, Zeile 1 - Zeile 10 -----	1,11,23
A	BERG VAN DEN H A M ET AL: "GMR ANGLE DETECTOR WITH AN ARTIFICIAL ANTIFERROMAGNETIC SUBSYSTEM (AAF)" JOURNAL OF MAGNETISM AND MAGNETIC MATERIALS,NL,ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, Bd. 165, Nr. 1/03, 1. Januar 1997 (1997-01-01), Seiten 524-528, XP000641835 ISSN: 0304-8853 Seite 525, rechte Spalte, Absatz 2.2 -----	1,11,23

# INTERNATIONALER RESEARCHBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/02017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5701222	A	23-12-1997	CN	1148710 A	30-04-1997
			JP	9147326 A	06-06-1997
			SG	43377 A	17-10-1997
US 5677625	A	14-10-1997	FR	2729790 A	26-07-1996
			EP	0724302 A	31-07-1996
			JP	9036456 A	07-02-1997

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**